

ICS 07.060

CCS Z 17

T

团体标准

T/CEATEC XXX—2026

深海多金属结核开采扰动环境原位监测系统集成技术规范

Technical specification for integration of in-situ monitoring system for
disturbed environment of deep-sea polymetallic nodule mining
(征求意见稿)

2026-X-XX 发布

2026-X-XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 系统组成 1

 4.1 总体架构 1

 4.2 水下原位监测分系统 1

 4.3 深海数据传输分系统 2

 4.4 水下稳压供电分系统 2

 4.5 岸基数据处理与管控分系统 2

5 技术要求 2

 5.1 环境适应性要求 2

 5.2 核心监测参数及技术指标 2

 5.3 采集与时序要求 3

 5.4 数据传输要求 3

 5.5 供电可靠性要求 3

 5.6 可靠性指标 3

6 系统集成要求 3

 6.1 集成基本原则 3

 6.2 硬件集成要求 3

 6.3 软件集成要求 3

7 现场安装与站点布设 4

 7.1 布设基本原则 4

 7.2 站点布局要求 4

 7.3 安装投放要求 4

8 数据质量控制 4

 8.1 传感器校准质控 4

 8.2 数据预处理质控 4

 8.3 传输与存储质控 4

9 运行维护与故障处置 4

 9.1 日常运维 4

 9.2 定期维保 4

 9.3 故障处置 5

前言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件为首次编制。

深海多金属结核开采扰动环境原位监测系统集成技术规范

1 范围

本文件规定了深海多金属结核开采扰动环境原位监测系统的系统组成、技术要求、系统集成要求、现场安装与站点布设、数据质量控制、运行维护与故障处置。

本文件适用于水深4000m~6000m深海区域多金属结核开采扰动环境原位监测系统的设计、集成、安装、调试与运行维护。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 5265 声学 水下噪声测量
- GB/T 12763.2 海洋调查规范 第2部分：海洋水文观测
- GB 17378.4 海洋监测规范 第4部分：海水分析
- GB 17378.5 海洋监测规范 第5部分：沉积物分析
- GB/T 42632 海洋生态环境水下有缆在线监测系统技术要求

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

多金属结核 polymetallic nodule

赋存于深海海底，富含锰、钴、镍、铜等金属的结核状矿石，又称锰结核、铁锰结核。

3.2

开采扰动环境 mining disturbed environment

多金属结核开采作业过程中，采矿设备作业、沉积物羽流扩散、设备噪声与废水排放等引发的海底地形、海水理化性质、沉积物环境及生物群落变化的海域环境。

3.3

原位监测 in-situ monitoring

在深海开采作业现场，对羽流的物理、化学、生物参数进行实时或定时的现场观测与采样分析。

4 系统组成

4.1 总体架构

监测系统整体应由水下原位监测分系统、深海数据传输分系统、水下稳压供电分系统、岸基数据处理与管控分系统四大部分构成，各分系统独立模块化设计，接口标准化，宜具备扩展升级能力。

4.2 水下原位监测分系统

应由基准监测站、开采核心区监测站、羽流追踪监测站三类站点组成：

a) 单站包含水文传感模块、海水化学模块、沉积物监测模块、生态声学监测模块、数据采集存储模块；

b) 基准站宜布设 1 套，开采核心区宜布设 3 套～5 套，羽流追踪站宜布设 2 套～3 套。

4.3 深海数据传输分系统

应包含水声通信机、水下光纤通信链路（可选）、北斗卫星通信终端、岸基接收网关，实现水下监测数据点对点、远距离双向传输。

4.4 水下稳压供电分系统

应由深海耐压锂电池组、电源管理模块、过流过压保护模块、能耗均衡控制模块组成，为水下所有监测设备持续供电。

4.5 岸基数据处理与管控分系统

应由数据接收服务器、大容量存储阵列、数据分析软件、可视化终端、远程管控与预警模块组成，可实现数据接收、存储、质控、分析、展示与设备远程运维。

5 技术要求

5.1 环境适应性要求

5.1.1 工作水深

额定工作水深 4000m～6000m，壳体静态耐压不应低于 60MPa，压力保压 30min 无渗漏、无塑性变形。

5.1.2 工作温度

水下长期工作环境温度-2℃～4℃，设备允许工作温度区间宜为-5℃～10℃。

5.1.3 耐腐蚀性能

水下承压壳体宜采用 TC4 钛合金或 316L 奥氏体不锈钢，中性盐雾试验 1000h 无点蚀、无裂纹，满足深海海水长期腐蚀环境使用要求。

5.1.4 抗生物附着

设备外表面应喷涂海洋防污涂层，有效防附着周期不应低于 2a。

5.1.5 抗振动冲击

可承受开采作业诱发 1Hz～100Hz 振动、峰值加速度不大于 5g，设备结构与电气连接不应出现松动、失效。

5.2 核心监测参数及技术指标

系统监测参数、测量范围、精度、分辨率应符合表 1 规定，同时满足 GB/T 12763.2、GB 17378.4、GB 17378.5 相关限值要求。

表 1 监测参数技术指标表

监测类别	监测参数	测量范围	示值精度	分辨率	参考标准
水文参数	海水温度	-2℃～4℃	±0.01℃	0.001℃	GB/T 12763.2
	海水盐度	34.0～36.0	±0.01	0.001	GB/T 12763.2
	海流流速	0cm/s～100cm/s	±1.0cm/s	0.1cm/s	GB/T 12763.2
	海流流向	0°～360°	±5°	0.1°	GB/T 12763.2
水体化学	溶解氧	0mg/L～10mg/L	±0.1mg/L	0.01mg/L	GB 17378.4
	pH 值	7.5～8.5	±0.01 pH	0.001 pH	GB 17378.4
	水体浊度	0NTU～1000NTU	±5%FS	0.1 NTU	GB/T 42632
沉积物	悬浮泥沙浓度	0mg/L～500mg/L	±5%FS	1mg/L	GB 17378.5

监测类别	监测参数	测量范围	示值精度	分辨率	参考标准
	沉积物粒径	1 μm~1000 μm	±5 μm	1 μm	GB 17378.5
生态声学	水下环境噪声	100dB~160dB	±1.0dB	0.1dB	GB/T 5265

5.3 采集与时序要求

- 5.3.1 水文、水质、声学参数采集频次不宜低于 1 次/min；沉积物、生态类参数采集频次不宜低于 1 次/h。
- 5.3.2 系统时钟授时精度应优于±1s/d，所有站点时序应统一同步。
- 5.3.3 水下本地存储容量不应小于 1TB，岸基存储阵列容量不应小于 10TB，原始监测数据归档保存期限不应少于 5a。

5.4 数据传输要求

- 5.4.1 水声通信有效通信距离不应小于 10km，数据丢包率不宜大于 5%；有缆光纤通信传输速率不应低于 10Mbps，丢包率不宜大于 0.1%。
- 5.4.2 整链数据端到端传输延迟不宜大于 30s，正常工况数据传输成功率不应低于 99%。
- 5.4.3 通信协议宜采用 TCP/IP、MQTT，数据帧应配置 CRC16 校验，具备断点续传、自动重传机制。

5.5 供电可靠性要求

- 5.5.1 水下额定供电直流 24V，电压允许偏差±10%；电源整机转换效率不宜低于 90%。
- 5.5.2 单组深海锂电池额定容量不应低于 100Ah，无补给连续工作时长不应少于 2a。
- 5.5.3 供电单元应具备过压、欠压、过流、短路、反向接入保护功能。

5.6 可靠性指标

系统平均无故障工作时间（MTBF）不应低于 8000h；水下设备连续无人值守工作时间不应少于 180d；有效数据完整率不应低于 95%。

6 系统集成要求

6.1 集成基本原则

- 6.1.1 兼容性
硬件接口、电气协议、数据格式应统一兼容，符合 GB/T 42632 规定，可适配不同厂商传感设备接入。
- 6.1.2 稳定性
集成后整机结构抗水压、抗振动、抗腐蚀，无信号串扰、无数据漂移。
- 6.1.3 可扩展
系统硬件通道、软件点位应预留不少于 20%冗余，宜支持新增监测参数与站点扩容。
- 6.1.4 安全性
数据传输加密、设备分级权限管理，关键单元宜采用冗余备份设计。

6.2 硬件集成要求

- 6.2.1 所有水下外接接口应采用深海防水航空连接器，防护等级不低于 IP68，插拔密封重复性良好。
- 6.2.2 传感探头安装高度：水文水质探头距海底底面宜 1.0m~1.5m；沉积物探头距海底宜 0.5m~1.0m，防止底泥掩埋干扰测量。
- 6.2.3 内部布线分类强弱电分离，屏蔽线缆单点接地，降低深海电磁干扰。
- 6.2.4 集成完成后应进行 70MPa 超额定耐压保压试验，保压 30min 结构与密封应完好。

6.3 软件集成要求

- 6.3.1 采集软件应具备实时采样、异常值标记、本地缓存、时序对齐功能，异常判别宜采用 3σ 准则。

6.3.2 平台软件应支持参数趋势曲线、羽流扩散平面分布、多站点对比分析、阈值超限自动声光预警。

6.3.3 数据输出格式宜兼容 NetCDF、CSV，满足海洋环境监测数据共享与入库规范。

7 现场安装与站点布设

7.1 布设基本原则

应遵循代表性、层次性、安全性、本底对照性原则；站点应避开采矿作业路径、尾矿排放区、地形陡变带，海底地形坡度不宜大于 5° 。

7.2 站点布局要求

7.2.1 基准对照站

布设于开采扰动区上游海流方向，水平距作业边界不应小于 10km，作为环境本底参照。

7.2.2 核心开采监测站

均匀布设于采矿作业点周边 500m 范围，站点间距 100m~200m，全覆盖核心扰动区。

7.2.3 羽流追踪站

沿下游海流方向间隔 500m~1000m 逐级布设，追踪泥沙羽流扩散范围与浓度衰减规律。

7.3 安装投放要求

7.3.1 设备先经陆上全系统通电联调，指标合格后方可下水投放。

7.3.2 采用 ROV/AUV 精准投放，站点平面定位误差不应大于 5m。

7.3.3 监测底座配置配重稳定块，自重不宜小于 50kg，抵御底层流冲刷移位；传感器外部加装防冲撞防护笼。

7.3.4 投放完成后应进行 72h 连续联调，通信、采集、时序、预警全部正常方可正式投入运行。

8 数据质量控制

8.1 传感器校准质控

水温、盐度、溶解氧、pH 等高频参数校准周期不宜大于 6 个月，沉积物、声学设备校准周期不宜大于 12 个月，校准方法遵照 GB/T 12763.2、GB 17378.4 执行。

8.2 数据预处理质控

原始数据应进行野值剔除、缺测插值、平滑滤波；人为剔除数据比例不应大于 5%，并留存质控日志可追溯。

8.3 传输与存储质控

采用 CRC 校验纠错，错误数据包自动重传；实行本地+云端双备份存储，每季度开展一次数据完整性核查，完整率保持不低于 99.9%。

9 运行维护与故障处置

9.1 日常运维

岸基管控中心每日巡检设备在线状态、数据接收情况、预警记录，每周完成数据备份，每月进行软件巡检与漏洞防护。

9.2 定期维保

9.2.1 每 6 个月利用 ROV 水下目视巡检，清理生物附着与探头堵塞。

9.2.2 每 2a 回收整机进行耐压复检、传感器重新校准、电池组更换。

9.2.3 每 5a 开展系统整体升级改造。

9.3 故障处置

- 9.3.1 短时通信中断应由水下设备本地缓存，链路恢复后自动补传。
 - 9.3.2 单传感器故障应自动标记缺测，待维保窗口期更换。
 - 9.3.3 供电欠压应触发平台预警，及时安排水下检修或设备回收。
-